

心臓IVR時の患者被曝線量実測法の開発と装置表示 管理値による線量推測法に関する研究

著者	加藤 守
号	83
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	医博(保)第9号
URL	http://hdl.handle.net/10097/58016

氏 名	かとう まもる 加藤 守
学 位 の 種 類	博士 (保健学)
学位授与年月日	平成 26 年 3 月 26 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項
研 究 科 専 攻	東北大学大学院医学系研究科 (博士課程) 保健学専攻
学位論文題目	心臓 IVR 時の患者被曝線量実測法の開発と装置表示管理値による線量推測法に関する研究
論文審査委員	主査 教授 千田 浩一 教授 高橋 昭喜 教授 石橋 忠司

論 文 内 容 要 旨

心臓 IVR (Interventional Radiology) は外科的手術に比べ侵襲性が低く、施行件数は年々増加傾向にあるが、IVR は X 線透視下手技のため、被曝のリスクが存在する。患者被曝においては、X 線が入射する皮膚面が最大線量となるため、皮膚障害に注意する必要がある。放射線皮膚障害は 1990 年頃から世界的に報告され始め、その多くは心臓領域の IVR によるものであった。IVR による放射線皮膚障害は、偶発的な機器の故障や線量管理の不備が招いた事故ではない。放射線の使用においては、放射線障害は起こり得ることを常に考慮する必要がある。

放射線皮膚障害を防止するには、患者の最大皮膚線量をモニタリングする必要があるが、先に述べた放射線皮膚障害の報告では最大皮膚線量を把握できた症例はごく僅かである。特に心臓 IVR は様々な撮影・透視角度が用いられるため、照射野の重複に注意が必要である。そこで我々は、心臓 IVR 時の照射野の重複を撮影角度から導き、心臓 IVR で最も使用した撮影角度の全フレーム数と照射野が重複した撮影フレーム数を全て加算し、撮影総フレーム数に対する割合を算出し、血管撮影装置の表示管理値の一つである累積入射表面線量に乗じて最大皮膚線量を推測する p-MSD (percentage-Maximum skin dose) 法を考案した。尚、使用した血管撮影装置は平面検出器搭載の東芝社製 INFX-8000V、single-plane システムである。この装置の装置表示値である累積線量は患者背部皮膚面での入射表面線量を算出し表示している。考案した p-MSD 法を用い、心臓 IVR 連続 400 症例で、最大皮膚線量の推測と患者背部の入念な観察を行ったところ、6 例の放射線皮膚障害の発症を確認した。放射線皮膚障害を発症した 6 症例の最大皮膚線量を比べると、最低線量は 6 Gy、最高線量は 12 Gy であった。発症率は 1.5 %で、これまでの報告の中で最も高い値であった。皮膚障害を発症した 6 症例中、痛みを全く感じない紅斑を呈した症例が 2 例存在し、通常であれば見逃されていたと考えられる。放射線皮膚障害の見逃しを防ぐには、最大皮膚線量の正確な把握と被曝線量管理が重要である。

被曝線量管理として、血管撮影装置の表示管理値を用いて最大皮膚線量を推測する方法は幾つか報告があるが、患者入射線量を直接正確に測定するシステムは確立されていない。今回、最大皮膚線量を実測するシステムとして、蛍光ガラス線量計 (radio-photoluminescence glass dosimeter; RPLD) を用いる方法を考案した。RPLD は熱ルミネッセンス線量計 (thermo-luminescent dosimeter; TLD) と同等な小型線量素子で、TLD のように蓄積した線量情報 (エネルギー) が時間とともに退化するフェーディングが無く、診断領域の比較的低いエネルギー領域 (30-50keV) で高い応答性を示す事が知られており、被曝線量管理に使用できると期待されるが、心臓 IVR 領域での被曝線量測定報告はない。そこで、心臓 IVR 時の照射野を覆うオリジナルの装具 (患者が着用し多数の RPLD を一定間隔で配置できるようにしたもの)

をデザインし、臨床時の患者入射線量を RPLD と胸部装具を用いて直接測定する新しい方法を開発した。このようなシステムを用いた被曝線量実測法の報告はこれまで無く、世界的に革新的な方法と考える。

RPLD の特徴は診断領域の X 線に高い感度を有し、通常エネルギー補償目的に錫フィルタが装着されている。しかし、錫は X 線不透過で臨床画像データ取得時の陰影となるため、今研究では錫フィルタを用いず RPLD を単独 (GD-302M) で用いた。臨床測定に先立ち、GD-302M の基本特性を調べる基礎実験を行い、線量依存性や線量率依存性、方向依存性はリファレンスとして用いた電離箱線量計と非常に直線性が良いことを確認した。また、エネルギー補償に関しては、管電圧 70kV から 120kV までの校正定数の平均値である 0.311 を用いることで容易に補正可能であった。胸部装具の開発に関し、装着時患者体型にフィットするよう、素材は伸縮性の良さや吸汗速乾性、装着時の快適さなどを考慮した。GD-302M の配置は、先行研究に基づきフィルムを使用し臨床時の照射の大きさと位置を確認し、それぞれの照射野に GD-302M が複数配置されるようにした。完成した装具はファントム実験を繰り返し、更に RPLD 設置部位と個数の最適化を行い最終的な装具を開発した。

開発した RPLD 胸部装具を用い、臨床時の心臓 IVR 患者被曝線量データを 70 症例で実測した。結果は、最大皮膚線量の平均及び標準偏差は 1.01 ± 1.05 Gy で、その内訳は心臓 IVR が 51 症例 (1.29 ± 1.10 Gy)、冠動脈造影検査が 19 症例 (0.254 ± 0.127 Gy) であった。それぞれの群において、血管撮影装置の表示管理値と RPLD による最大皮膚線量の関係を解析した結果、心臓 IVR 症例で最も良く相関した表示管理値は p-MSD 法であった。近似式は $y = 1.22x + 7.97$ で相関係数 r は 0.957 であった。しかし、p-MSD 法は若干の計算を必要とするため、最も容易に且リアルタイムに最大皮膚線量を推測可能な血管撮影装置の表示管理値は累積入射表面線量で、近似式は $y = 1.01x + 86.0$ 、相関係数 r は 0.888 であった。この近似式から心臓 IVR 時の最大皮膚線量は装置表示の累積入射表面線量にほぼ等しいと考えることが出来た。冠動脈造影検査においては、累積入射表面線量が最大皮膚線量と最も良く相関し、近似式は $y = 0.598x + 6.98$ 、相関係数 r は 0.956 であった。診断カテーテル検査の最大皮膚線量は装置表示累積入射表面線量の約 6 割と推測可能であった。血管撮影装置の表示管理値に手技毎の補正値を乗ずることで、リアルタイムに最大皮膚線量が推測可能である。

RPLD と胸部装具を用いて、心臓血管撮影時の最大皮膚線量を実測することが出来た。また、これまで血管撮影装置の表示管理値を用いて推測していた最大線量を実測値と比較し、その正確性・有用性を実証した。

審 査 結 果 の 要 旨

博士論文題目 心臓 IVR 時の患者被曝線量実測法の開発と装置表示管理値による線量推定法に関する研究

所属専攻・領域名 保健学専攻 ・ 生体応用技術科学領域

氏名 加藤 守

IVR（X 線透視下によるカテーテル治療）は優れた特長を持っている。しかし、特に手技が複雑で難易度が高い IVR の場合は、透視時間・撮影回数が増加し、結果として放射線障害発生の危険性が高くなる。よって現在、IVR に伴う患者被曝は重要な問題となっている。FDA（米国食品医薬品局）や ICRP（国際放射線防護委員会）等では、IVR 時の放射線障害を回避するために注意喚起を促しており、IVR 患者の被曝線量を評価することを勧めている。しかしながら IVR は、手技中に透視撮影角度や照射野などが大きく変化することが多い等ため、患者最大皮膚線量を正確に計測評価することは極めて困難である。つまり、患者入射線量を直接正確に測定するシステムは、現在確立されてはいない。

このような背景のなか、本論文は、蛍光ガラス線量計（RPLD）を用いた患者最大皮膚線量を実測するシステムを考案し、その有用性を評価した重要な研究である。まず RPLD の基本特性を調べ、線量依存性や線量率依存性、方向依存性などが非常に良いことを確認し、次にエネルギー依存性については校正定数を用いることで容易に補正可能であることを見出した。さらに本研究は、心臓 IVR 時の患者皮膚面での照射野を覆うオリジナルの胸部装具をデザインし、その胸部装具と RPLD を用いて患者入射線量を直接測定する新しい方法を開発し、そして人体ファントム実験等でその有用性などについて詳細に検討を行った。次に、その RPLD と胸部装具を用い、心臓 IVR（冠動脈形成術）を含む臨床時の患者被曝線量データを、成人患者 70 症例で実測し良好な結果を得た。すなわち本論文は、患者被曝線量測定ゴールドスタンダードとなりうるような方法を開発して検証した優れた研究である。

さらに臨床 70 症例の RPLD データによる最大皮膚線量と、従来の被曝線量管理値である血管撮影装置の表示値との相関について検討した。その結果、リアルタイム指標として累積線量が適していることを明らかにした。

また本研究には、心臓 IVR 患者において放射線皮膚障害を発症した 6 症例の最大皮膚線量の検討や、その皮膚障害の経過の分析についての貴重な報告も含まれている。

よって、本論文は博士（保健学）の学位論文として合格と認める。